

ПЕКУЛЯРНЫЕ СКОРОСТИ СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗД ТИПА Ia В СКОПЛЕНИЯХ ГАЛАКТИК

Е. А. Балакина^{1,2}, М. В. Пружинская²

¹Физический факультет Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова, ²Государственный астрономический институт
им. П. К. Штернберга, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Наблюдения сверхновых Ia позволяют оценить значения космологических параметров при помощи диаграммы Хаббла. В первую очередь такие наблюдения дают значение постоянной Хаббла, которая является одним из основных космологических параметров. Повышение точности измерений данной величины представляет важную задачу для современной космологии, поэтому необходимо учитывать влияние пекулярных скоростей сверхновых на измерение красного смещения, используемое при построении диаграммы Хаббла. Мы изучаем вклад пекулярных скоростей, обусловленных движением родительских галактик в поле тяготения скопления галактик, для космологической выборки сверхновых PANTHEON.

PECULIAR VELOCITIES OF SUPERNOVAE Ia IN CLUSTERS OF GALAXIES

Е. А. Balakina^{1,2}, М. V. Pruzhinskaya²

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, ²Lomonosov Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute

Observations of supernovae Ia make it possible to estimate the values of cosmological parameters using the Hubble diagram. First of all, such observations give us a value of the Hubble constant, which is one of the most important cosmological parameters. Improving the accuracy of measurements of this parameter is a priority for modern cosmological analysis. Therefore, it is necessary to take into account the influence of the peculiar velocities of supernovae Ia on the measurement of the redshift, which is used in constructing the Hubble diagram. We study the contribution of peculiar velocities due to the motion of host galaxies in the gravitational field of galaxy clusters for a cosmological sample of supernovae PANTHEON.

Изучение влияния пекулярных скоростей сверхновых (СН), обусловленных движением родительской галактики в скоплении галактик, проводилось для космологической выборки сверхновых PANTHEON. Данная выборка содержит СН из различных обзоров, которые были собраны и взаимно откалиброваны. Среди сверхновых PANTHEON 297 объектов имеют красное смещение $z < 0.15$. Для таких СН вклад пекулярных скоростей наиболее значим [1] (рис. 1). Для того чтобы идентифицировать сверхновые в скоплениях галактик, мы провели процедуру кросс-матча: взаимное сопоставление сверхновых из PANTHEON со скоплениями галактик из каталогов Plank-SZ [2] и MCXC [3], в которых скопления определялись по эффекту Сюняева–Зельдовича или по наличию мощного рентгеновского излучения горячего газа в центре скопления [4, 5].

Результатом начального этапа кросс-матча является выборка из 30 сверхновых и соответствующих им скоплений. На следующем шаге исследования мы определили дополнительные критерии сопоставления, чтобы учесть эффекты проекции. В итоговом списке

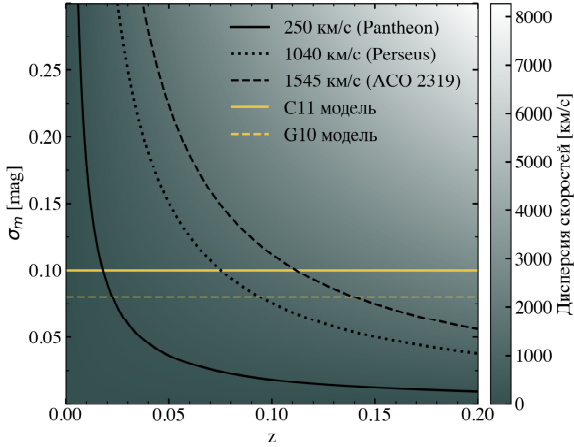


Рис. 1. Величина σ_m показывает дисперсию звездной величины, пересчитанную для различных значений дисперсии скоростей σ_v , для малых красных смещений. Желтая пунктирная и сплошная линии показывают принятое значение σ_m для двух моделей в PANTHEON

надежных сверхновых типа Ia в скоплениях оказалось 25 СН, для которых необходимо учитывать пекулярные скорости родительских галактик: использовать красное смещение скопления вместо красного смещения родительской галактики в качестве космологического z на диаграмме Хаббла. Для каждого скопления, которое содержало родительскую галактику СН, на основе данных SDSS (<https://www.sdss.org>) [6, 7] мы рассчитали величины красных смещений при помощи двухвесовой техники [8]. Для тех скоплений, для которых не было спектральных данных в обзоре SDSS, мы взяли данные из литературы. Для каждой СН в скоплении красное смещение родительской галактики заменялось на найденные красные смещения соответствующих им скоплений. На рис. 2 показана разница $\Delta\mu$ теоретического модуля расстояния и модуля расстояния, рассчитанного с использованием исправленного красного смещения.

В работе [1] проводился анализ на выборке близких сверхновых NEARBY SUPERNOVA FACTORY. Авторы показали, что поправка за пекулярные скорости в скоплениях галактик для красного смещения для 11 сверхновых дает статистически значимое уменьшение дисперсии на диаграмме Хаббла. Помимо такого анализа было проведено исследование в работе [9], которое показало, что вклад влияния пекулярных скоростей СН значительно больше вклада эффекта микролинзирования на измерения красного смещения при малых z . В данной работе мы рассмотрели космологическую выборку СН и обнаружили 25 объектов в скоплениях галактик. На рис. 2 показано, что пекулярные скорости родительских галактик СН действительно влияют на измерение модуля расстояния сверхновых. Данный эффект представляет интерес для дальнейшего изучения и определения его значимости, в частности, чтобы учитывать его влияние при работе с данными телескопов и обзоров нового поколения.

Е. А. Б. благодарит Фонд развития теоретической физики и математики «БАЗИС» 20-2-1-34-1. Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фундаментальные и прикладные исследования космоса».

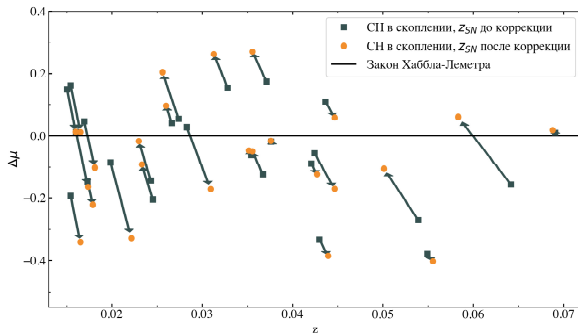


Рис. 2. Разность модуля расстояния μ на диаграмме Хаббла до поправки peculiarной скорости (зеленые квадраты) и после нее (оранжевые кружки). Закон Хаббла—Леметра показан черной сплошной линией

Библиографические ссылки

- [1] *Léget P. F., Pruzhinskaya M. V., Ciulli A. et al.* Correcting for peculiar velocities of Type Ia supernovae in clusters of galaxies // *Astron. Astrophys.* — 2018. — Vol. 615. — P. A162. 1804.03418.
- [2] *Planck Collaboration, Ade P. A. R., Aghanim N. et al.* Planck 2015 results — XXIV. Cosmology from Sunyaev-Zeldovich cluster counts // *A&A.* — 2016. — Vol. 594. — P. A24.
- [3] *Piffaretti R., Arnaud M., Pratt G. W. et al.* The MCXC: a meta-catalogue of x-ray detected clusters of galaxies // *Astron. Astrophys.* — 2011. — Vol. 534. — P. A109. 1007.1916.
- [4] *Boldt Elihu, McDonald Frank B., Riegler Guenter, Serlemitsos Peter.* Extended Source of Energetic Cosmic X Rays // *Phys. Rev. Lett.* — 1966. — Vol. 17, № 8. — P. 447—450.
- [5] *Sarazin Craig L.* X-ray emission from clusters of galaxies. — Cambridge Astrophysics Series, Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- [6] *Wilson J. C., Hearty F. R., Skrutskie M. F. et al.* The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE) Spectrographs // *Public. Astron. Soc. Pacific.* — 2019. — Vol. 131, № 999. — P. 055001. 1902.00928.
- [7] *SDSS-IV Collaboration, Ahumada Romina, Allende Prieto Carlos et al.* The 16th Data Release of the Sloan Digital Sky Surveys: First Release from the APOGEE-2 Southern Survey and Full Release of eBOSS Spectra // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2020. — Vol. 249, № 1. — P. 3. 1912.02905.
- [8] *Beers Timothy C., Flynn Kevin, Gebhardt Karl.* Measures of Location and Scale for Velocities in Clusters of Galaxies—A Robust Approach // *Astron. J.* — 1990. — Vol. 100. — P. 32.
- [9] *Habibi Farhang, Baghran Shant, Tavasoli Saeed.* Peculiar velocity measurement in a clumpy universe // *International Journal of Modern Physics D.* — 2018. — Vol. 27, № 3. — P. 1850019. 1412.8457.